

後部座席シートベルトの効果と課題

槇 徹雄*

1. はじめに

日本国内の1年間の交通事故死者数は平成8年に1万人を切り、平成20年には5,155人と減少傾向にある⁽¹⁾。しかしながら、交通事故の発生件数は70万件、負傷者数は90万人を超えるなど、まだ依然として交通事故の現状は厳しいものがある。このため、政府は今後10年間を目途に、さらに交通事故死者数を半減させる方針を示している。

一方、エアバッグなどの自動車の安全技術はシートベルト着用を前提として技術開発されており、シートベルト着用時に最高の安全性能が発揮される構造となっている。逆にシートベルト非着用時にはエアバッグは極めて危険なものとなる。例えばエアバッグがヘビー級ボクサー以上のパンチや野球のバットのように高速で顔面に近づくことを想像すれば、イメージできるであろうか。因みに、米国での調査結果では、エアバッグで1990年以降子供を含めると約250人（子供を除くと約100人）の方が亡くなっている（表1）。エアバッグを安全な風船と考えている読者には衝撃的なデータであろう。

本解説では、最も効果的に自動車の安全性能を発揮するためには後部座席（以下、後席）を含めて自動車乗員全員がシートベルトを必ず着用するべきであることを、再認識していただくことを第一目的としている。また、後部座席シートベルトの課題については、まだ研究が始まったばかりであるが、数点ほど詳細に解説する。

表1 エアバッグによる死亡者数（米国1990～）⁽²⁾

Children	子供		157
-RFCSS	チャイルドシート有	23	（内訳）
-Not RFCSS	チャイルドシート無	134	（内訳）
Drivers	運転者（大人）		84
Passengers	助手席（大人）		12
Total	合計		253

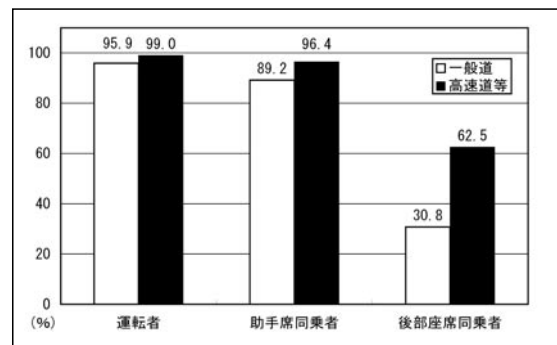
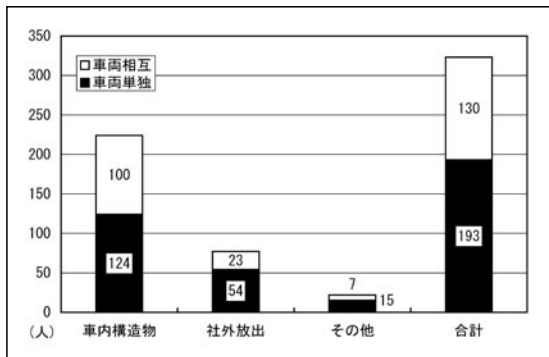


図1 ベルト着用状況⁽³⁾

* まき てつお／東京都市大学工学部機械工学科 教授

図2 後席シートベルト非着用時の死亡原因⁽⁴⁾

2. 後席シートベルト着用義務化の背景

(1) シートベルト着用率

警察庁と日本自動車連盟（JAF）の調べでは、前席シートベルト着用率が既に一般道で90%程度、高速道路で100%近くの着用率となっている（図1）。これは法律による義務化、行政や企業による広報活動による効果であろう。一方、後席においては2008年6月の後席シートベルト着用義務化にも関わらず、まだ一般道で30%程度、高速道路で60%程度と低い状態となっている。今後もシートベルト着用率向上のための教育や広報活動の継続が必要と考えられる。

(2) 後席乗員の死亡原因

後席乗員がシートベルトを着用しないで死亡した事故の原因を示す（図2）。図中の車両相互とは車両と車両との衝突で、車両単独事故とは、例えば車両と電信柱等との衝突を示している。車両相互、車両単独共に死亡原因は主に車内構造物との衝突による場合と車外放出の場合であり、両方合わせると90%以上となっている。

① 主な加害部位となる車内構造物

車内構造物に関して、一般の読者が直接目で確認するのは難しいので少し説明する。1～2トンの車両が横転した時に乗員の生存空間を確保し支えるために、車体はピラーと呼ばれる鋼板を溶接

図3 自動車の骨格構造例⁽⁵⁾図4 シートの内部構造⁽⁶⁾

してできている高強度な骨格部材で構成されている（図3）。このピラーは、車内乗員の乗降時など一般に手で触っても鋼板の角部で切創などが発生しないように、比較的柔らかい樹脂性の内装材で覆われている。しかしながら、その柔らかい樹脂材の裏側には前述したように極めて強度の高い部材が存在している。

また、自動車の前席シートも同様にウレタンで覆われているため想像しにくいですが、前席シート内部には鋼板や鋼管の結合構造となっているため比較的強度が高く、後席乗員が前席シートに衝突すると傷害が発生する可能性がある（図4）。このよ

うに柔らかい材料で覆われていることが、エアバッグの場合と同様にシートベルト非着用でも安全だと誤解を与えている可能性もある。

②車外放出で加害部位が路面や車外の構造物

車外放出とは、割れた窓ガラスから身体全部、または頭や腕等の身体の一部が車外に出てしまい、この車外に出た身体が路面やガードレールなどの構造物と衝突、または後続車両の轍下（下敷き）となることで死亡するものである。高速道路で自分の体が車両から出た状態を想像すれば、素人でも危険な状態であることを理解できるであろう。

（３）後席乗員の事故例⁽³⁾

シートベルトを着用していない後席乗員の頭部がセンターピラーと呼ばれるピラーに激突して、樹脂性内装材が割れた事故例である（図５）。写真からはあまり大きな傷害は無いように思われるが、乗員は頭部の開放性陥没骨折により死亡している。

米国の事故分析では前面衝突時に少なからず、衝突角度を有する斜め衝突となると報告されている⁽⁷⁾。また、実際の衝突では車両の重心位置に一致して衝撃荷重が入力されることは極めてまれであり、一般に衝撃荷重と車両重心位置はずれると考えられる。この場合、衝突後の車両はスピン等の回転挙動となる可能性があり、乗員は車両前後方向の慣性力だけでなく、遠心力も発生するため斜め方向に移動、すなわちセンターピラー方向に衝突することになる。

次に高速道路で後方から追突された事故例であ



図５ シートベルト非着用の乗員が衝突した内装材



図６ 高速道路での追突で乗員が車外放出

る。この事故例では後席乗員だけがシートベルトを着用しておらず、事故時に後席乗員がリアガラスからリアドアガラスを割って車外に放り出され、路面との衝突で死亡している（図６）。一般に高速走行中に追突されると車両の挙動が不安定になるため、前述の事故例と同様に車両に回転挙動が発生し、この回転挙動に伴う遠心力により乗員が車外に放出される可能性等がある。さらに、車両がスピンして、車両後部からガードレール等に激突するとシートベルトを着用していない乗員はリアガラスから容易に外部方向へ飛んでいくことになる。

最後に、後席乗員がシートベルトを着用していなかったために、前席乗員がエアバッグと後席乗員に挟まれて胸腹部圧迫で重傷となった事故例である（図７）。後席乗員がシートベルトを着用しないことは、後席乗員自身の死亡・重傷へつながるだけでなく、他の乗員への加害者となりうることを認識できる重要な事故データである。



図７ 後席乗員による前席乗員胸腹部圧迫事故例

3. シートベルト着用義務化の効果

(1) 交通事故統計データ⁽³⁾

財団法人交通事故分析センターは交通事故統計データを用いて、後席でシートベルトを着用した場合の安全性を具体的な数値で報告している。シートベルトを着用することにより死亡率が1/3まで低減し、また重傷者を含めた死亡重傷率が1/2まで低減している。すなわち、シートベルト着用時の安全性が2～3倍まで高まることを示している(図8)。

(2) 実車実験⁽⁸⁾

車両の衝突性能を比較し、☆の数で車両の衝突安全性能を公表している独立行政法人自動車事故対策機構は後席シートベルトの安全性について、実車とダミーを使用した衝突実験結果を報告している。実験条件は、車両の前席に大人男性のダミーを着座させ、後席には小柄な女性のダミーを着座させて55km/hの速度でバリアに衝突させるフルラップ試験である(図9)。

実験結果から、前後席ともシートベルト着用時

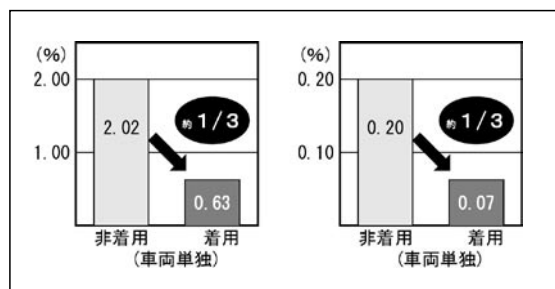


図8-1 シートベルト着用別の死亡率

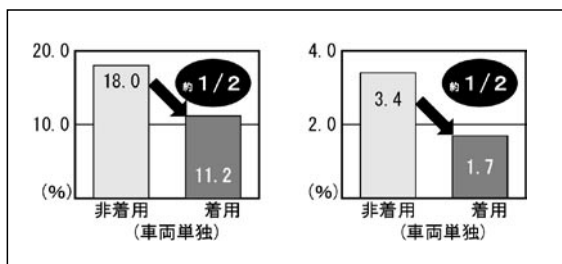


図8-2 シートベルト着用別の死亡重傷率

の効果は歴然としており、シートベルトの着用が重要であることは疑う余地もない。さらに、エアバッグが標準装備となっていない後席ではシートベルトの効果は極めて大きく、シートベルト非着用時には約95%の確率で頭部傷害が発生することがわかる(図10)。本実験は衝突速度や衝突形態が決められた一部の特殊な事故再現実験ではあるが、交通事故データでのシートベルト着用時の安全性が2～3倍になることの裏付けの一つとなると推察される。

4. 正しい後部シートベルト着用の必要性

社団法人日本自動車工業会の市場動向調査⁽⁹⁾によると、現在ミニバンやSUV、1BOXカーといったワゴン系車種の保有率は約4割を占め、過去10年間で約2倍に増加している。このワゴン系車種

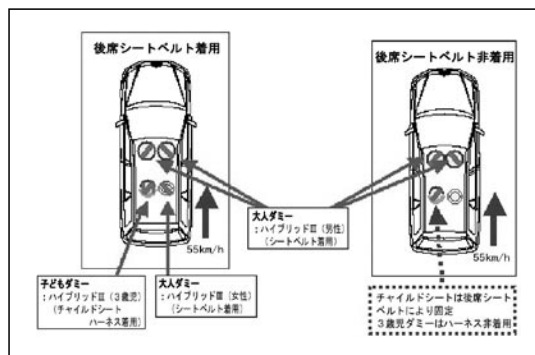


図9 シートベルト着用効果確認実験概要

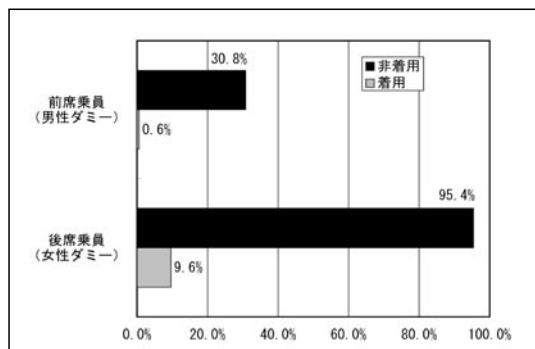


図10 シートベルト着用時の効果 (頭部重傷率)

の特徴として、後席のロングスライド化によって後席の広々感が宣伝されていることが挙げられる。

しかしながら、ワゴン系車種のショルダベルトアンカの多くはピラーに固定されており、シートスライド位置を変化させると、乗員のシートベルトの拘束状態も大きく変化し、シートベルトの効果が期待できない場合も考えられる。このため縮尺模型を使用して後席乗員のシートベルトの着用について説明する。また、本手法には高度な品質工学を用いるため、少し難しくなるがご容赦いただきたい。結論だけを読んでいただいても大丈夫なように全体構成を編成している。

(1) 模型実験 ⁽¹⁰⁾

実車実験では莫大な研究費が必要となるため、縮尺模型を使用して、後席シートベルトの課題を把握した。まず、実際の衝突実験データと比較して製作した模型（ダミー模型、車体模型）が実際の衝突現象を再現できるか、十分な妥当性が得られるかを確認した。

エアバッグ及びシートベルトプリテンションとフォースリミッタ機構を搭載した前席に、ダミー模型を着座させ、自動車アセスメントに定められているフルラップ前面衝突実験を実施した（図 11）。衝突速度は 55km/h（模型換算速度 7.86 km/h）である。製作した模型による衝突実験の結果と、原型の衝突実験の結果を比較し、ほぼ同様の加速度波形と衝突挙動とが得られた（図 12、13）。

また、後席も同様にダミー模型を着座させ、前席と同様の実験条件で衝突させた結果、実際の衝突実験とはほぼ同様の衝突挙動が得られた。このため、模型実験が実車実験に対しまずまずの妥当性を持っていると判断した。

(2) 品質工学 ⁽¹¹⁾

品質工学とは、直交表を用いることにより効率的に複数の因子の分析が可能な実験計画法に、ば

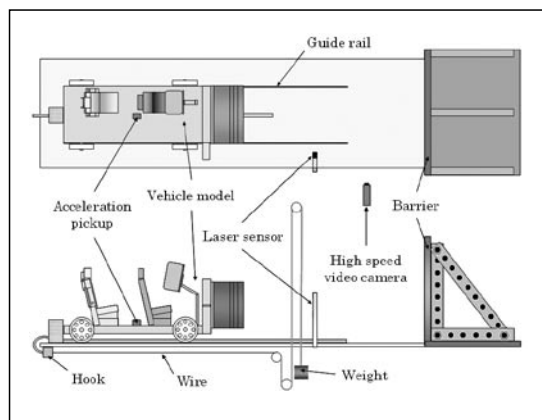


図 11 実験装置

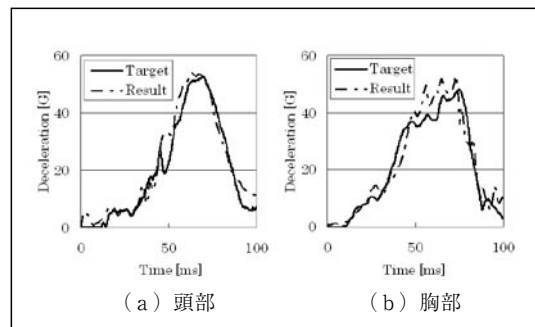
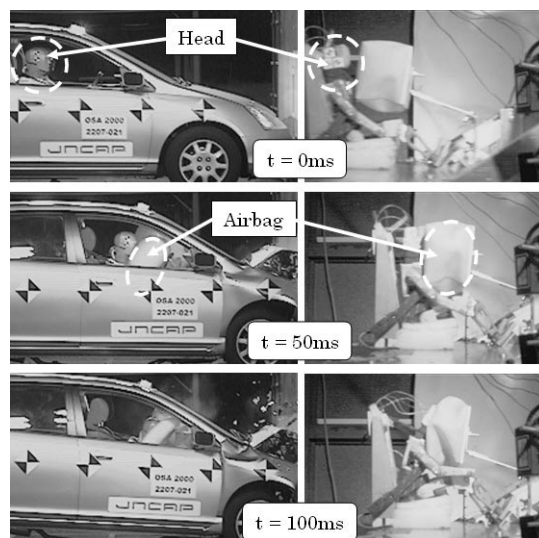


図 12 前席確認実験結果



(a) 実車実験 (b) 模型実験

図 13 衝突時の前席挙動比較

らつきの概念を加えて研究・開発及び設計の合理化・効率化を図るための評価手法である。この品質工学を用いることにより、ばらつきを減少し、開発費用・開発期間の削減を図ることができるだけでなく、どの因子の、どの水準が、どの程度重要な機能に影響を与えているのかを数値化することができる。

例えば、本研究では8個の因子の乗員傷害値への影響を分析したが、全ての組み合わせを実験するには4,374通りの実験が必要となる。しかし、本手法でL18直交表を用いることで18通りの実験で各因子の効果の定量化が可能となる。

(3) 実験方法・結果

品質工学において評価する機能として、乗員傷害値の評価指標の一つである頭部傷害 HIC (Head Injury Criterion) と胸部傷害 3msG を用い、品質特性としては静特性を用いた。また、自動車前面衝突時の後席乗員の拘束状態が後席乗員傷害に及ぼす影響を数値化するため、ばらつきよりも感度に重点を置き分析した。

パラメータ設計として、HIC と 3msG に影響を及ぼすと思われる因子をまとめ、その中から後席の安全装置、シート周りに着目して制御因子を選定した。そして、現在販売されている国産のワゴン系車種の装備、寸法を参考にし、水準を割り当てた。また、誤差因子として衝突角度を選定し、これらの因子を L18 直交表に割り当て実験した。その結果から、プリテンショナとフォースリミッタ機構の有無、シートベルトアンカ位置、シートスライド位置及びアームレストの有無が乗員傷害

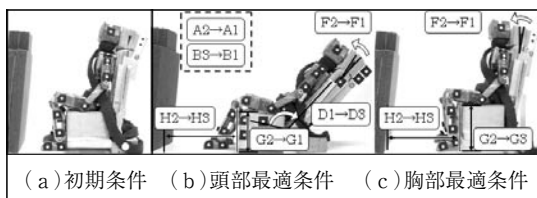


図 14 利得の確認実験の乗員姿勢

値への影響が大きいことがわかった。

(4) 品質工学の妥当性と利得の確認

本実験の信頼性を確認するため、要因効果図より推定できる結果と妥当性確認実験から得られる結果を、「初期条件と最適条件の差」すなわち、利得で比較した。また、後席乗員の一般的な着座姿勢を初期条件とし、傷害値が一番低くなるように各因子を選定した (図 14)。

傷害値が低くなる条件は、プリテンショナとフォースリミッタ機構付きで、シートベルトアンカ位置が乗員の肩に最も近くなるように配置させる場合であった。さらに、頭部保護を最適にする条件はシートバックを倒すこと、胸部保護を最適にする条件はシート位置を高くすることであった。

その効果は、頭部傷害値 HIC の推定低減値 831 に対して、実験値 622、胸部傷害値 3msG の推定低減値 23.8 に対して、実験値 21.8 と概ね同様な利得が得られ、本実験結果には信頼性があると判断

表 2 利得の確認実験 (傷害値の比較)

Sensitivity	HIC		Chest 3msG	
	Estimated value	Experiment value	Estimated value [G]	Experiment value [G]
Optimum condition	179	271	23.7	27.7
Initial condition	1010	893	47.5	49.5
Gain	831	622	23.8	21.8

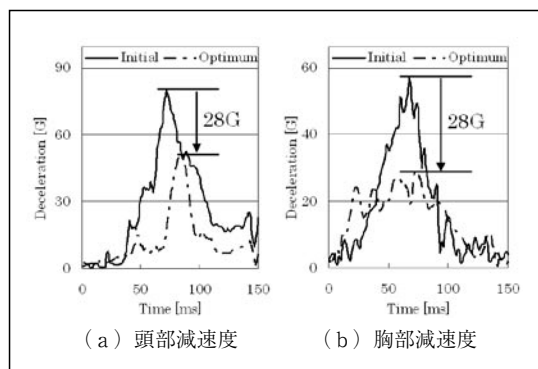


図 15 利得の確認実験 (減速度の比較)

できた。また、その低減効果を割合で表すと HIC は 70%、胸部 3msG では 44% である（表 2、図 15）。

（5）考察

傷害値が低減するメカニズムについて、品質工学の結果だけでは明確に判断できないため、傷害値への影響が大きいシートスライド位置に関するパラメータに着目して、詳細に分析した。

シートスライド位置を後方へ移動させ、乗員とシートベルトとの間に空間を発生させると、頭部傷害値 HIC は約 2.5 倍増加し、胸部傷害値 3msG も約 2 割増加した（図 16）。これはシートを後方へスライドさせるとシートベルトの初期拘束力が弱まる結果と考えられる。

（6）結論

品質工学と模型を用いた衝突実験から、シートを後方へ大きくスライドさせるとシートベルトと乗員との相対位置が大幅に変化し、頭部傷害値と胸部傷害値に影響することが明確になった。このことは、一般のユーザがシート位置を変更することにより、ある一定の条件下で傷害リスクに差異が生じる可能性があるということである。自動車を購入した際には付属している取扱説明書をよく読み、安全性を効果的にする方法を守ることが重要であろう。

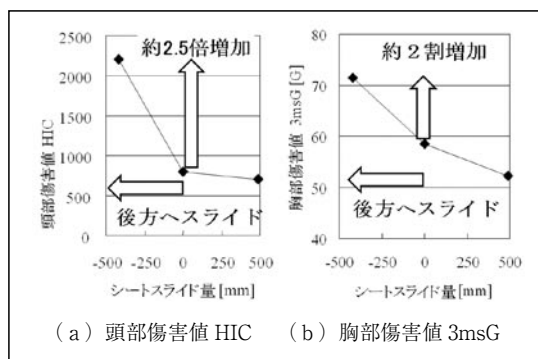


図 16 シートスライド位置の傷害値への影響

5. おわりに

ここまで、後席シートベルトの効果と課題について言及してきた。独立行政法人や財団法人、自動車関連の研究者も衝突安全性能の向上に鋭意努力している。一方、自動車の衝突安全性能の大前提はシートベルトの着用であり、前席乗員だけでなく後席乗員にも当てはまる極めて重要な基本操作である。自動車衝突安全の研究に従事する一人として、『後席でもシートベルトの着用が絶対必要である』と、声を大にして読者のみなさんに申し上げるとともに、ご理解いただけたら幸いである。

参考文献

- (1) 警察庁：平成 20 年中の交通事故死者数について，警察庁交通局（2008）
- (2) 社団法人 日本自動車技術会：2006 年度工学技術者と医療従事者のためのインパクトバイオメカニクス，Page.146
- (3) 独立行政法人 自動車事故対策機構：後席シートベルト着用キャンペーン及び報道発表資料
<http://www.nasva.go.jp/information/seatbelt.html>
<http://www.nasva.go.jp/gaiyou/houdou01/2006/060725.html>
- (4) 財団法人 交通事故分析センター：イタルダイナモーション 74（2008 May）
- (5) 富士重工業株式会社：<http://www.subaru.jp/>
- (6) 三栄書房：モーターファン別冊 Vol.29（2009）,Page.50
- (7) Hidetsugu Saeki, Tetsuo Maki, Hiroyuki Miyasaka, Maki Ueda：A FUNDAMENTAL STUDY OF FRONTAL OBLIQUE OFFSET IMPACTS, International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, Paper Number 264, May 2003.
- (8) 社団法人 日本自動車連盟（JAF）：シートベルト着用状況全国調査（2008）（<http://www.jaf.or.jp/>）
- (9) 社団法人 日本自動車工業会：2007 年度乗用車市場動向調査，Page.10
- (10) 横 徹雄，土屋 雅史，堺 英男：自動車前面衝突時の後席乗員のシートベルトの有効性に関する研究，自動車技術会論文集（投稿中），20095291，2009.
- (11) 越水重臣，鈴木真人：バーチャル実験で体得する実践・品質工学，日刊工業新聞社